

SOMMARIO

La società moderna presta crescente attenzione ai disturbi elettromagnetici transitori (TED), come gli impulsi elettromagnetici da fulmine (LEMP), gli impulsi elettromagnetici dovuti ad esplosioni nucleari d'alta quota (HEMP), le interferenze elettromagnetiche dovute a operazioni di commutazione negli impianti elettrici, le scariche elettrostatiche (ESD) e così via. Il campo elettromagnetico transitorio può accoppiarsi alle linee di trasmissione multiconduttore (MTL) e le sovratensioni e sovracorrenti indotte possono causare effetti gravi o persino danni alle MTL e alle apparecchiature terminali nei sistemi di trasmissione. Quindi, la modellizzazione teorica nel dominio del tempo delle MTLs è di grande importanza per lo studio dell'accoppiamento del campo incidente e per le relative tecnologie di protezione, quando le variabili dipendenti dalla frequenza e i componenti non lineari nei sistemi devono essere presi in considerazione contemporaneamente. Lo scopo di questa ricerca è di proporre un accurato ed efficiente algoritmo di macromodellamento nel dominio del tempo, basato sul metodo generalizzato delle caratteristiche (MoC) e sulla modellizzazione comportamentale analogica (ABM), al fine di studiare mediante solutori SPICE le risposte transitorie di reti di distribuzione aeree o interrate, terminate con dispositivi lineari o non lineari e apparecchiature con bobine di grandi dimensioni (rappresentate da trasformatori), in presenza di TED.

Innanzitutto, in questa tesi, utilizzando i dispositivi adinamici e dinamici della libreria ABM di PSpice, viene stabilito un macromodello nel dominio del tempo per MTL. In particolare, vengono analizzati numerosi parametri e vincoli importanti correlati all'accuratezza e alla passività del modello. In secondo luogo, il macromodello di MTL viene modificato per modellare l'accoppiamento del campo elettromagnetico con le reti MTL al di sopra del terreno con perdite. Quindi, per i problemi di accoppiamento del campo a cavi interrati, viene presentato un macromodello in grado di stimare le risposte transitorie di cavi coassiali. Infine, viene stabilito un modello di circuito a larga banda per l'analisi delle sovratensioni nell'avvolgimento di un trasformatore, per eseguire in modo efficiente la co-simulazione in SPICE con i modelli di altri componenti del sistema. I principali risultati di questa tesi sono elencati di seguito:

I dispositivi adinamici e dinamici della libreria ABM di PSpice sono utilizzati per modellare componenti dipendenti dalla frequenza e caratteristiche non lineari durante l'analisi transitoria. Vengono inoltre proposti e analizzati alcuni criteri e vincoli per una modellizzazione accurata e un calcolo efficiente delle parti ABM dipendenti dalla frequenza. Viene proposto un algoritmo accurato ed efficiente per la macromodellizzazione nel dominio del tempo e per calcolare le risposte transitorie di MTL, in cui le impedenze caratteristiche (o le ammettenze) e gli operatori di propagazione delle linee sono modellati direttamente utilizzando le istruzioni LAPLACE o FREQ. Inoltre, viene proposta e dimostrata una condizione sufficiente a garantire la passività del macromodello proposto. Secondo la convalida numerica, l'algoritmo proposto non solo può produrre macromodelli accurati, ma semplifica e

accelera ampiamente i processi di modellazione e simulazione, in particolare per MTL molto lunghe e terminate con carichi lineari o non lineari.

Il macromodello proposto per le MTL viene esteso per includere l'eccitazione del campo esterno e del terreno con perdite, per modellare la risposta di reti MTL al di sopra del terreno al campo esterno. Vengono discusse le espressioni dei parametri per unità di lunghezza, specialmente per l'impedenza e l'ammettenza del suolo. La modularità e l'indipendenza del macromodello sono utilizzate per modellare la rete di linee, collegando insieme sottomodelli a due porte. Inoltre, per alcuni scenari, abbiamo proposto un modello semplificato della rete basato sulla trasformazione di Thevenin, in cui rami discreti della rete equivalgono a un circuito di Thevenin a una porta. Secondo la validazione numerica, il macromodello proposto si è dimostrato accurato ed efficiente. Il macromodello viene utilizzato per eseguire studi numerici degli effetti dei parametri di linea, del suolo con perdite e dei conduttori di terra sulle risposte indotte.

Viene proposto un metodo di macromodellizzazione nel dominio del tempo per calcolare le risposte transitorie dei cavi interrati all'accoppiamento con il campo incidente. Inoltre, le espressioni di approssimazione per le formulazioni integrali di auto e mutua impedenza (e ammettenza) del suolo sono proposte da un'analogia con le espressioni esistenti in forma chiusa. Pertanto, l'algoritmo proposto evita la discretizzazione spaziale e temporale e la valutazione inefficiente dei parametri transitori generalmente utilizzati dal metodo delle Differenze Finite nel Dominio del Tempo (FDTD). La validazione numerica dimostra che l'efficienza della simulazione è migliorata in modo significativo in base alla precisione. Inoltre, come per le reti TL aeree, è anche possibile realizzare facilmente il macromodello per l'accoppiamento del campo alle reti di linee interrate.

Infine, viene proposto un modello circuitale equivalente per calcolare sovratensioni transitory nell'avvolgimento quando un impulso di tensione colpisce un trasformatore. In questo modo è possibile stabilire il modello d'ingresso dell'avvolgimento e il modello circuitale della funzione di trasferimento, che può essere combinato con circuiti equivalenti di MTL o dispositivi nel sistema per eseguire analisi transitorie in modo conveniente ed efficiente.